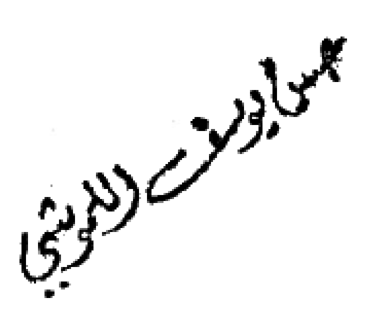


الـذرة والتنمية

نشرة علمية إعلامية تصدرها الهيئة العربية للطاقة الذرية
العدد الاول ● المجلد الثالث ● كانون الثاني / يناير 1991

دور الطاقة الذرية في تنمية المجتمع

تأثيرات الأسلحة النووية

القسم الثالث : وصف الانفجارات النووية

1) مقدمة

يرتبط عدد من الظواهر المُميِّزة مع الانفجارات النووية، ويكون بعض هذه الظواهر واضحًا للعيان بشكل مباشر في حين لا يظهر البعض الاخر منها بشكل مباشر. وتعتمد بعض الجوانب لهذه الظواهر على نمط التفجير، أهو تفجير هوائي أم على ارتفاع عالٍ أم سطحي أم تحت السطح، كما تقدم في العدد 11 من المجلد الثاني 1990 من نشرة الذرة والتنمية. وينجم هذا الإعتماد عن التفاعلات المباشرة وغير المباشرة لنواتج السلاح المتفجر مع البيئة المحيطة بها مما يؤدي إلى إحداث تغييرات في توزيع الطاقة المتحررة، وخاصة توزيعها إلى طاقة إنفجار وطاقة صدم وطاقة إشعاع حراري. إضافة إلى ما تقدم، فقد تؤثر الظروف المناخية للمنطقة التي حدث فيها الإنفجار، كدرجة الحرارة والرطوبة والريح، والضغط الجوي وحتى طبيعة الارض، على بعض الظواهر المُلاحَظة. بيد أن الظواهر الرئيسة المرتبطة بنمط التفجير تظلّ ثابتة، وسنتعرض في هذا العدد لوصف هذه الظواهر.

ينطبق الوصف الخاص بالتفجيرات على ارتفاعات عالية والتفجيرات الهوائية المقدم هنا على القنابل النووية عيار 1 ميجاطن تي إن تي. وبشكل عام، فإن الظواهر الاساسية لانفجار ما في بيئة معينة لا تعتمد كثيرًا على طاقة الانفجار. ويفترض في مناقشتنا هذه أن الانفجارات الهوائية الانموذجية تتم على ارتفاع كافٍ بحيث تكون كرة النار مرتفعة كليًا عن سطح الارض، حتى عندما يكون حجمها في قيمته العظمى. وستشمل المناقشة التحويرات والتأثيرات الخاصة الناتجة عن حدوث الانفجار على ارتفاع عال وكذلك قرب سطح الارض.

2) كرة النار

يؤدي انشطار اليورانيوم (أو البلوتونيوم) أو إندماج نظائر الهدروجين في سلاح نووي إلى تحرير مقدار كبير من الطاقة خلال مدة زمنية قصيرة جدًا وضمن قدر محدود من المادة. وكنتيجة لذلك، فإن نواتج الإنشطار وغلاف القنبلة وأجزاء السلاح المتفجر الاخرى تسخن إلى درجات حرارة عالية جدًا تماثل تلك الخاصة بمركز الشمس. وتبلغ درجة الحرارة القصوى لبواقي السلاح المنشطر بضعة عشرات الملايين من الدرجات، مقارنة مع درجة الحرارة القصوى في انفجار تقليدي شديد التي تصل إلى 5,000 درجة مئوية. ونتيجة لكمية الحرارة الهائلة الناتجة عن الانفجار النووي فإن جميع المواد تتحول إلى الحالة الغازية. ونظرًا لإنحصار الغازات الناتجة لحظة الإنفجار داخل السلاح النووي فإن ضغطًا هائلًا ينتج. ويفوق هذا الضغط مقدار الضغط الجوي بأكثر من مليون مرة، حيث تبلغ قيمته عدة ملايين من الباوندات على البوصة (Inch) المربعة.

تقوم بقايا السلاح الساخنة جدًا بإطلاق كميات كبيرة من الطاقة خلال جزء من مليون جزء من الثانية، وذلك على شكل اشعاعات

(يتبع ص 3)

جامعاتنا العربية والتحديات المعاصرة

قد لا يرى المرء من الوهلة الاولى الارتباط الوثيق بين جامعاتنا العربية وتحديات العصر، وبنفس المنظور قد لا تظهر أهمية جامعاتنا في حماية الامن القومي للوطن العربي من مخاطر حرب نووية، بيد ان الجامعات تلعب الدور الاساس في تنمية العقول والملكات العلمية للاجيال القادمة. كما أن لها دورا هاما في غرس المعرفة والثقافة والقيم السامية لديهم، بما يمهد الطريق أمامهم لجعل حياتهم أكثر انتاجا ونفعا لهم ولمجتمعاتهم. ان الجيل الحالي من طلبتنا هو أول جيل يواجه خطر الفناء بسبب اسلحة الدمار الشامل ومنها النووية التي قد يشنها علينا اعداؤنا الطامعون بأرضنا وثرواتنا، لذلك يجب ان تقوم جامعاتنا في دورها بتعليم ابنائنا واعطائهم الصورة العلمية الواضحة والدقيقة لما قد

(يتبع ص 2)

يواجههم، اذا أردنا لهم النجاة والبقاء وتسليحهم بأساليب التعامل مع ذلك.

أن موضوع الحرب والسلم في عالم اليوم موضوع شائك جدا. وعلى طلبتنا اليوم، الذين هم قادة الغد، أن يطوّروا أدوات معرفية مناسبة تؤهلهم لفهم مشاكل ذات تعقيدات متزايدة، ولاستنباط الحلول الناجعة لها. ويعد تدريب طلبتنا في الجامعات العربية لمواجهة مثل هذه المشاكل تحديا حقيقيا لمؤسساتنا التعليمية كافة. فقد أدّى بنيان الجامعات الحالي، المبني على أقسام ثم كليات، الى عزل العلماء في التخصصات المختلفة بعضهم عن بعض. مما قضى على الحوار العلمي وتبادل الاراء بين الاساتذة من الاقسام المختلفة، وحرم الطلبة من فرصة تعلم كيفية مجابهة علماء من خلفيات وتخصصات متباينة حلّ مسألة واحدة، وشجع حب الانا والنزوات الذاتية لدى الاساتذة في اقسامهم المختلفة. ولا يمكن التغلب على المشاكل المعقدة بالطبع إلّا بمجابهتها من قبل فريق متكامل من العلماء القادمين من تخصصات علمية مختلفة والعاملين مع ادارات كفوءة في مؤسسات رائدة. وعليه فان المطلوب من جامعاتنا تبني سياسة الانفتاح العلمي بين كلياتها وأقسامها الاكاديمية، وأن توفر لهم الادارات المناسبة التي لا تقف حدودها عند عتبات الاقسام الخاصة بها. وعلى رؤساء الجامعات وعمدائها واساتذتها وطلبتها العمل معا لتخطي حواجز الاحباط والتخلف العلمي، وتسخير الامكانات المالية لدعم البحوث والدراسات المتداخلة التي يشارك فيها اساتذة وطلبة من اقسام مختلفة. ومن أبرز المؤسسات العلمية التي تبنت هذه السياسة وثبت نجاح مفعولها هي معهد ماساشوستس للتقنية ومعهد كالفورنيا للتقنية في الولايات المتحدة الامريكية. اذ تفوق كل من المعهدين في برامجه العلمية والدراسية في شتى ميادين العلوم والهندسة، وقدم لامريكا كثيرا من العلماء المتميزين ممن مرّوا اثناء دراستهم الجامعية في مثل هذه البرامج والبحوث المتداخلة.

ان الجامعات العربية مطالبة الان أكثر من أي وقت مضى بنفض غبار السبات والنهوض لحمل ناصية العلم والتقنية في اقطارنا العربية. ولا بدّ من ايلاء اساتذتها وطلبتها كل الاهمية على الدوام، وتوفير سبل الابداع لهم ضمن الامكانيات المتاحة، مع العمل على تعزيزها. وفي طليعة هذه السبل اصدار التشريعات العادلة والحوافز الملائمة وإزالة كل عوامل المعاناة والاحباط التي قد يعيشها الاساتذة والطلبة. فمن غير المعقول أن تستنزف بعض جامعاتنا معظم طاقة اساتذتها البحثية في سعيهم للترقيات العلمية ببحوث لا تصب نتائجها في التطور العلمي والتقني لامتنا، بل هي مسخرة لمعالجة مشاكل من العالم المتقدم. اذ ان مشاكل اقطارنا العربية العلمية تختلف في طبيعتها واهدافها عن مشاكل العالم الصناعي المتقدم العلمية، غير أن الدوريات العالمية قد لا تقبل انتاج باحثينا ما لم يكن ضمن ذلك الاطار. وتستطيع جامعاتنا وضع التشريعات والحوافز الصحيحة التي تعطي الاهمية الاولى للبحوث المتعلقة بواقعنا ومؤسساتنا والتي تمثل خطوات على طريق نقل العلوم والتقانة إلى أقطارنا العربية، حتى لو كانت هذه البحوث بالمنظور الغربي غير اصيلة أو تكرار لغيرها. كما أنه من غير المعقول أن توضع الخطط الدراسية لابنائنا الطلبة في مختلف تخصصاتهم الاكاديمية دون ربطها بهدف التطور والنهوض العلميين لامتنا العربية، ويتنافى هذا مع تقليد بعض الجامعات العربية الاعمى لخطط بعض الجامعات الغربية دون مراعاة الفروق في الاهداف، اذ ان احتياجات المجتمعات الغربية الحالية ليست مماثلة لاحتياجات مجتمعاتنا العربية. ويجب التركيز في الخطط الدراسية على العلوم النافعة لمجتمعاتنا اكثر من التركيز على العلوم المجردة. وليس هذا بالامر الهين بطبيعة الحال، فلا بدّ من بذل الجهد والوقت والمال في هذا المجال.

ان التغلب على التخلف العلمي العربي في موضوع العلوم النووية يجب ان يكون في طليعة الاهداف الاتية لمؤسساتنا التعليمية العربية. ليس فقط لاهمية هذه العلوم ودخولها في شتى ميادين التقنية الطبية والغذائية والزراعية والصناعية وتحليل العينات وتوليد الطاقة، وانما لان الفجوة بيننا وبين العالم المتقدم كبيرة جدا في هذا المجال، مما يتطلب اتخاذ اجراءات فورية للعمل على تقليلها. ويمكن لمؤسساتنا التعليمية تحقيق الكثير من الانجازات اذا هي استجابت لهذا التحدي وضمّنت خططها الدراسية في العلوم الفيزيائية الاساسية الخاصة بالعلوم النووية، علاوة على تعاملها مع التطبيقات العلمية والهندسية المرتبطة بهذه العلوم. ويمكن لجامعاتنا تضمين المواضيع التالية للمساقات الدراسية في اقسام الفيزياء والرياضيات والكيمياء وعلوم الارض والبيئة واقسام الهندسة المختلفة، ويتطلب هذا استحداث بعض المساقات الجديدة وتعديل محتوى البعض الاخر.

1) مواضيع يجب أن تغطيها مساقات اقسام الفيزياء

- مبادىء القياس، خواص الدوال البسيطة، تقنيات التقريب المختلفة.
- الميكانيكا الكلاسيكية اللازمة لاستيعاب ووصف المفاهيم الاساسية كالقوة والطاقة والضغط والحرارة ودرجة الحرارة.
- الطيف الكهرمغناطيسي، الاشعة السينية، الضوء المرئي، الرادار.
- مبادىء علم الضوء الهندسية والموجية.
- مبادىء الفيزياء النووية مع التركيز على أهمية طاقة الربط بشكل خاص.
- فيزياء عمليتا الانشطار والاندماج النوويين.
- ديناميكا (تحريك) طيران الصواريخ وحركة الاقمار الصناعية.
- فيزياء عمليات فصل النظائر.
- مبادىء فيزياء الليزر والضوء الكمي.

- مبادىء فيزياء الجسيمات الاولية وحزم الجسيمات وفهم الاسلحة المبنية على حزم الجسيمات وصيغ الوقاية منها.
- التأثيرات الفيزيائية للاسلحة النووية وفهم مبدأ عملها والوقاية منها.
- تاريخ الفيزياء المؤدية إلى فهم الاسلحة النووية والوقاية منها.

2) مواضيع يجب ان تغطيها مساقات اقسام الرياضيات

- التطبيقات العسكرية لنظرية الاحتمالات وللاحصاء.
- مبادىء تحليل العمليات.
- رياضيات عمليات التشفير.

3) مواضيع يجب ان تغطيها مساقات أقسام الكيمياء

- مبادىء الكيمياء النووية الاساسية اللازمة لوصف وفهم التطبيقات الهامة.
- مبادىء فصل النظائر.
- عمليات استخلاص اليورانيوم والتنقيب عنه.
- كيمياء المعالجة المعادة لليورانيوم والبلوتونيوم.
- عمليات تخصيب اليورانيوم باستخدام مبادىء الانتشار والطرد المركزي والليزر.
- كيمياء نقل الفضلات المشعة ومعاملتها.
- عمليات الانفجار التقليدية.
- الكيمياء الحيوية للمعادن الثقيلة.
- الكيمياء الحيوية لتأثيرات الاشعاع على الانسان.
- تاريخ الكيمياء مع التركيز على الاجزاء المتعلقة باستخدامات الكيمياء للاغراض الدفاعية، بما في ذلك تطوير فهم والوقاية من الغازات الكيميائية.

4) مواضيع يجب أن تغطيها مساقات أقسام علوم الارض والبيئة

- تأثيرات الانفجارات النووية على البيئة مع التركزي على تأثيراتها الجوية.
- الكشف عن التفجيرات النووية الارضية باستخدام مرسمة الزلازل ودراسة تقدير ناتج الانفجار (مقدرا بكيلو طن تي ان تي).
- ديناميكا (تحريك) الاقمار الصناعية الارضية.
- استخدام الاقمار الصناعية للتصوير عن بعد والتقنيات المستخدمة للتحقق من صحة الصور ودقتها.
- استخدامات البحار والمحيطات للاغراض الدفاعية.
- التطبيقات العسكرية في الفضاء ومدلولاتها وسبل الوقاية منها.

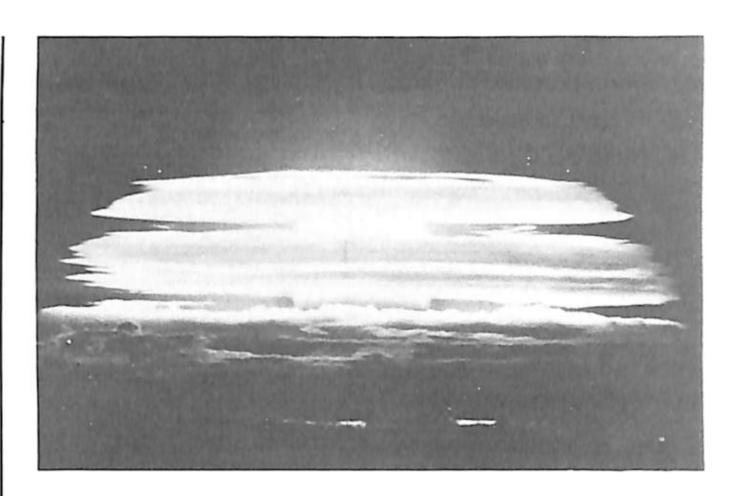
5) مواضيع يجب أن تغطيها مساقات اقسام الهندسة

- تصاميم المفاعلات النووية.
- دورات الوقود النووي.
- فهم مبادىء بناء السلاح النووي.
- دراسة تجارب الاسلحة النووية والجوانب المتعلقة بها وتأثيرها على البيئة.
- تصميم الصواريخ العابرة للقارات.
- البنيان الهيكلي للصناعات الدفاعية وللبحوث المتعلقة بها.
- تطبيقات التقنيات المتقدمة الدفاعية.
- تطبيقات الحاسوب في مجال العمل الدفاعي.
- البنيان الهيكلي والتصاميم الخاصة بمراكز القيادة والتحكم والاتصالات.
- الهندسة الصناعية والتحولات الاقتصادية.
- القضايا المتعلقة بنقل المعرفة والتقانة.

ويتضح من تشابك المواضيع المطروحة في البنود من 1 إلى 5 أعلاه مدى الحاجة الى تبني البرامج المتداخلة في الكليات العلمية في جامعاتنا العربية، اذ ان تطوير أية تقانة يتطلب تظافر جهود الفيزيائي والكيميائي والمهندس مع غيرهم من العلماء والفنيين. ان ما يدعى إليه في هذا المقال هو تغيير النظم التقليدية في مؤسساتنا التعليمية بما هو أجدى وأنفع، وكلنا أمل أن يساعد هذا الطرح جامعاتنا في وضع خطط تنقلها الى مستوى التحديات العلمية المعاصرة. «وقل اعملوا فسيرى الله عملكم ورسوله والمؤمنون» صدق الله العظيم.

تأثيرات الاسلحة ... (تابع ص 1)

سينية غير مرئية يتم امتصاصها خلال بضعة أقدام داخل الوسط الجوي المحيط إضافة إلى إشعاعات أخرى. وينتج عن ذلك تشكل كتلة ساخنة جدًا جدًا وشديدة الإضاءة من الهواء ومن غازات بقايا السلاح النووي على شكل كروي تعرف باسم كرة النار. ويبين الشكل (1) كرة نار مثالية مصاحبة لانفجار هوائي، ناتج الطاقة له في نطاق الميجاطن، تم تصويرها من بعد 50 ميل من على ارتفاع 12,000 قدم. وتتناقص إضاءة السطح بمرور الزمن، إلا أن اضاءتها بعد مرور ملّي ثانية واحدة لسلاح عيار 2 ميجاطن من بعد 50 ميل تكون أشد من إضاءة مركز الشمس عند الظهيرة بعدة مرات. وفي العديد من التفجيرات النووية التي تمت على ارتفاعات منخفضة في الجو في منطقة التجارب النووية بصحراء نيفادا الامريكية، والتي كان ناتج الطاقة لها أقل من 100 كيلوطن، فإنه أمكن مشاهدة اللمعان الضوئي المصاحب للانفجارات في السماء في ساعات الفجر الباكرة في مناطق تبعد أكثر من 400 ميل عن موقع الانفجار. ولم يكن هذا نتيجة لانبعاث الضوء في خط مستقيم بالطبع، وانما نتيجة تشتت الضوء وحيوده، أي انحناء أشعة الضوء عن جسيمات الغبار وجسيمات الرطوبة الموجودة في الجو. من ناحية أخرى فقد أمكن رؤية الانفجارات من عيار الميجاطن، التي تمت على ارتفاعات عالية، بشكل مباشر في أماكن تبعد أكثر من 700 ميل عن موقع الانفجار.



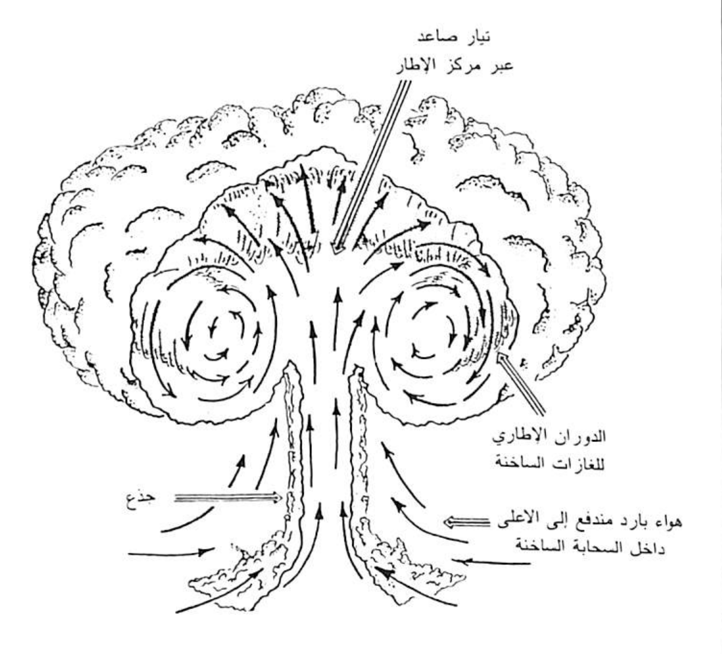
الشكل (1) : كرة النار الناتجة عن انفجار هوائي من عيار الميجاطن، وقد أخذت الصورة من ارتفاع 12,000 قدم ومن على بعد حوالي 50 ميل من مكان الانفجار. وترى في الشكل كرة النار محاطة جزئيا بالسحابة المتكثفة.

لا تتغير درجة حرارة سطح كرة النار، التي تحدد شدة الإضاءة واللمعان، كثيرًا بتغير ناتج الطاقة للسلاح النووي المنفجر. وبالتالي فإن شدة إضاءة كرة النار الملاحظة لانفجار هوائي تكون ثابتة تقريبًا، بغض النظر عن كمية الطاقة الناتجة عن الانفجار. وبمجرد تكوين كرة النار، فإن حجمها يبدأ بالإزدياد مبتلعة الهواء المحيط بها. ويصاحب هذا النمو في حجم كرة النار انخفاض في درجة الحرارة بسبب الزيادة في كتلتها. وفي نفس الوقت، فإن كرة النار ترتفع، مثل بالون هواء ساخن في الجو. وخلال 0.7 من الملي ثانية بعد لحظة الانفجار، يصبح قطر كرة النار الناتجة عن انفجار سلاح نووي عيار ميجاطن واحد 440 قدمًا، ويزداد هذا القطر ليصبح 5,700 قدم في عشرة ثوانٍ. ويستمر بالتزايد بعد ذلك بمعدل 250 إلى 350 قدم لكل ثانية. وتبرد كرة النار بعد مضي دقيقة إلى درجة أنها لا تعود قادرة على بعث أشعة مرئية، وفي هذه اللحظة تكون الكرة قد ارتفعت إلى حوالي 4.5 ميل من نقطة الانفجار الاولى.

3) السحابة النشطة إشعاعيًا

تكون درجة حرارة كرة النار من الداخل اثناء توهجها عالية جدًا جدًا بحيث أن جميع مواد السلاح النووي المنفجر تكون في حالة غازية. ويشمل هذا نواتج الإنشطار النشطة إشعاعيًا واليورانيوم (أو البلوتونيوم) غير المنشطر، كما يشمل غلاف السلاح والمواد الاخرى. ومع تزايد حجم كرة النار وانخفاض درجة حرارتها فإن الابخرة الغازية تبدأ بالتكثف لتشكيل سحابة تحتوي على جسيمات صلبة من حطام السلاح، إضافة إلى احتوائها على العديد من قطرات الماء الصغيرة الناتجة من الهواء المشفوط باتجاه كرة النار المتصاعدة.

يؤدي تبريد كرة النار من الخارج، الناتج عن إنبعاث الإشعاع وعن صعودها إلى الاعلى عبر تيار من الهواء، في اللحظات الاولى من تكوينها إلى إحداث تغيير في شكلها. إذ يتحول شكلها الكروي تقريبًا إلى شكل إطاري (toroid shape) مع أن هذا الشكل والحركة المصاحبة له سريعًا ما تختبيء داخل السحابة المشعة والحطام. ومع صعودها إلى الاعلى، تتعرض كرة النار إطارية الشكل إلى حركة دورانية داخلية شديدة، كما هو موضح في الشكل (2). ويلاحظ تشكُل الإطار عادة في الجزء السفلي من السحابة المرئية، كما يظهر في الجزء الاكثر إضاءة من كرة النار إطارية الشكل المبينة في الشكل (3). ويؤدي الدوران إلى إدخال المزيد من الهواء عبر الجزء السفلي من الإطار، ومن ثم إلى تبريد السحابة وتبديد الطاقة المحتواة في كرة النار. ونتيجة لذلك تتباطأ الحركة الإطارية، وقد تتوقف كليًا مع صعود السحابة إلى أقصى ارتفاع لها.



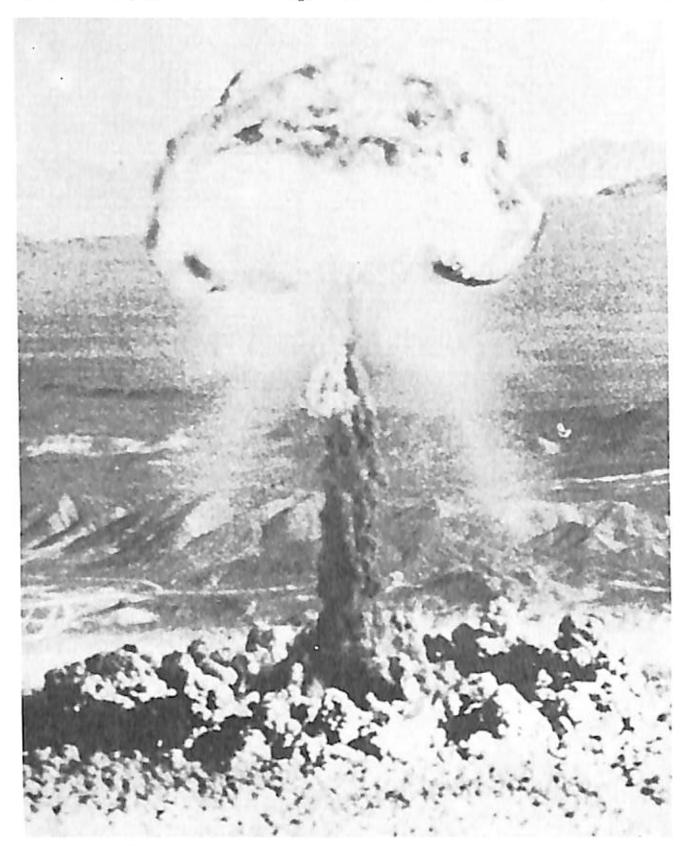
الشكل (2) : رسم توضيحي للدوران الإطاري عبر السحابة النشطة إشعاعيا الناتجة من انفجار نووي

يكون لون السحابة النشطة إشعاعيًا أحمرًا أو أحمرا مائلا إلى البني في البداية، وذلك بسبب وجود المركبات الملونة المتنوعة (حامض النتروز وأكاسيد النتروجين). وتنتج هذه المركبات الملونة من التفاعل الكيميائي بين النتروجين والاكسجين وبخار الماء في الهواء عند درجات الحرارة المرتفعة وتحت تأثير الإشعاعات النووية. ويتغير لون السحابة إلى الابيض كلّما بردت كرة النار وحدث التكثف، وذلك نتيجة لقطرات الماء المتكونة تماما كما في السحابة العادية.

ينتج تيار صاعد شديد من الرياح التي تسري إلى الداخل في المنطقة المجاورة للانفجار، ويطلق على هذا التيار اسم «الرياح اللاحقة»، ويعتمد ذلك على ارتفاع موقع انفجار السلاح النووي وعلى طبيعة التضاريس الارضية تحت موقع الانفجار. وبمقدور هذه الرياح اللاحقة التسبب في شفط كميات متباينة من الاتربة والحطام من سطح الارض إلى داخل السحابة النشطة إشعاعيا، أنظر الشكل (3).

عند حدوث انفجار هوائي وشفط كميات متوسطة (أو صغيرة) من الاتربة والحطام إلى داخل السحابة، فإن جزءا صغيرا نسبيا من جسيمات الاتربة يصبح ملوثا إشعاعيا، وذلك لان الجسيمات لا

تمتزج بشكل دقيق مع مخلفات السلاح الموجودة في السحابة حينما تكون نواتج الإنشطار لا تزال في حالة بخار وشيك التكثف. أما إذا حدث الانفجار قرب سطح الارض، فإن كميات كبيرة من الاتربة والحطام تشفط إلى داخل السحابة في اللحظات الاولى للانفجار.



الشكل (3) : انفجار هوائي منخفض يبين كرة النار إطارية الشكل وسحابة الاتربة

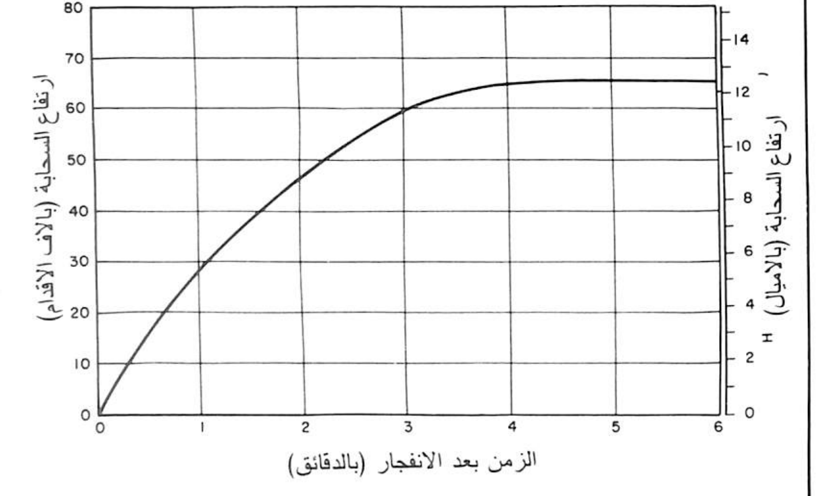
ولذلك فإن جسيمات الاتربة تمتزج مع مخلفات السلاح بشكل جيد خلال المراحل الاولى لتكوين السحابة ونموها. ومن ثم فعندما تبدأ نواتج الانشطار المتبخرة بالتكثف فإنها تتكثف على الجسيمات الغريبة الموجودة في السحابة مُكوِّنة أجسامًا ذات نشاط إشعاعي عالٍ.

تحمل مخلفات السلاح المتصاعدة الجسيمات في البداية، إلّا أنها تبدأ بالتساقط ببطء بعد بعض الوقت وذلك تحت تأثير الجذب الارضي، ويعتمد معدل تساقط الجسيمات على حجمها. ونتيجة لذلك فإنه يتولد عمود من السحاب (أو الدخان) بطول وعرض متزايدين. وتتكون هذه السحابة بشكل رئيسي من جسيمات صغيرة جدًا من نواتج الإنشطار النشطة إشعاعيًا ومن مخلفات السلاح وقطرات الماء، إضافة إلى جسيمات الاتربة والحطام الاكبر حجمًا والتي تكون محمّلة على الرياح اللاحقة.

تعتمد سرعة تصاعد قمة السحابة النشطة إشعاعيًا على الظروف المناخية وعلى ناتج الطاقة للسلاح. ويُعطي الجدول (1) القيم التقريبية لمعدل التصاعد للسحابة الناتجة عن انفجار عيار 1 ميجاطن، كما يبين الشكل (4) تمثيلًا بيانيًا لهذه القيم. وهكذا وبشكل عام فإن السحابة ترتفع إلى 3 أميال خلال 30 ثانية وإلى 5 أميال خلال دقيقة واحدة. ويكون معدل تصاعد السحابة خلال الدقيقة الاولى حوالي 300 ميل في الساعة (أو 440 قدم في الثانية). وهذه بالطبع قيم تقريبية لغايات التوضيح، إذ ان معدل التصاعد قد يختلف كثيرًا عن القيم المعطاة وذلك حسب الظروف المناخية السائدة وحسب عيار السلاح.

الجدول (1) : معدل تصاعد السحابة النشطة إشعاعيًا الناتجة عن انفجار عيار 1 ميجاطن

الارتفاع (ميل)	الزمن (دقيقة)	معدل التصاعد (ميل لكل ساعة)
2	0.3	330
4	0.7	270
6	1.1	220
10	2.5	140
12	3.8	27

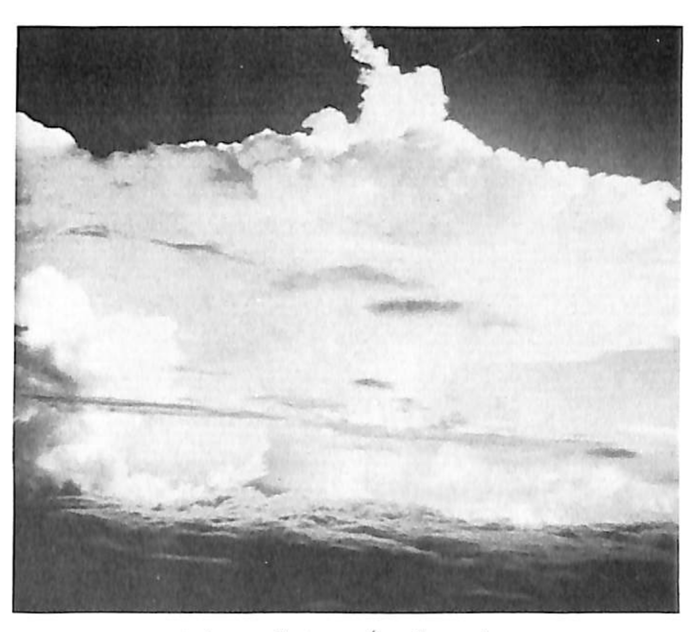


الشكل (4) : اعتماد ارتفاع قمة السحابة فوق موقع الانفجار على الزمن لانفجار هوائي عيار 1 ميجاطن

يعتمد الارتفاع النهائي الذي تصل إليه السحابة النشطة إشعاعيا على طاقة الحرارة للسلاح وعلى الظروف الجوية، كالرطوبة والاستقرار. فكلّما ازدادت كمية الحرارة المتولدة كلّما ازداد الدفع إلى الاعلى نتيجة لقوة الطفو (buoyancy force) وكلّما ازداد الارتفاع النهائي للسحابة بالتالي. كما يعتمد أقصى ارتفاع للسحابة بشدة على منطقة الركود (منطقة التروبوبوز) التي تفصل بين منطقة **التروبوسفير** (طبقة الجو السفلي) ومنطقة **الستراتوسفير** (طبقة الجو العليا) ذات الهواء المستقر نسبيًا. ويتغير ارتفاع منطقة الركود بتغير فصول السنة وتغير خط العرض، حيث يتراوح ارتفاعها بين 25,000 قدم قرب القطبين و 55,000 قدم في المناطق الاستوائية.

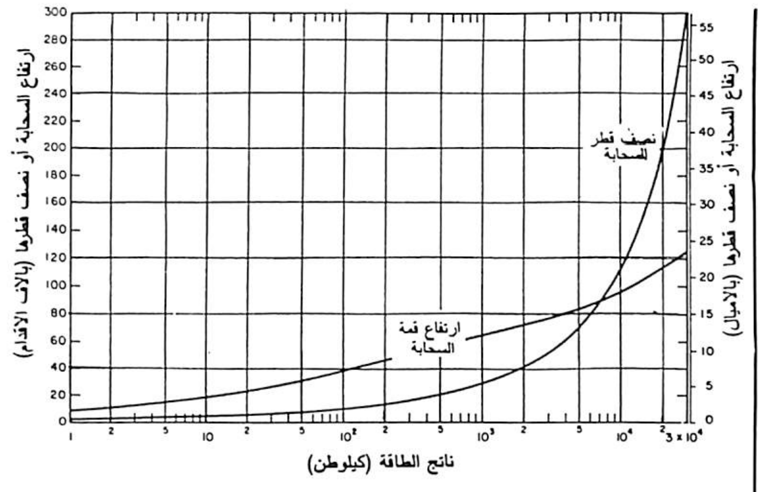
وعندما تصل السحابة منطقة الركود، فإنها تواجه ميلا نحو الانتشار بشكل عرضي (أي جانبي). غير أنه إذا ما ظلّ هنالك قدر كافٍ من الطاقة في السحابة النشطة إشعاعيًا عند هذا الارتفاع، فإن جزءا منها سيخترق منطقة الركود ويستمر بالصعود نحو منطقة الستراتوسفير ذات الهواء الاكثر استقرارًا.

تصل السحابة إلى أقصى ارتفاع لها بعد حوالي 10 دقائق ويقال لها عندئذ بأنها أصبحت «مستقرة». وتستمر السحابة بالنمو عرضيا لانتاج الشكل المحدب الرأس المميّز، انظر الشكل (5). وقد يستمر ظهور السحابة بشكل مرئي لمدة حوالي ساعة أو أكثر قبل أن تتشتت بواسطة الرياح وتندمج مع الغيوم العادية في الجو.



الشكل (5) : السحابة محدبة الرأس الناتجة عن انفجار نووي من عيار الميجاطن، وقد تم تصويرها من ارتفاع 12,000 قدم ومن بعد 50 ميل عن موقع الانفجار

تعتمد أبعاد السحابة المستقرة الناجمة عن انفجار نووي على الظروف المناخية، التي تتغير بتغير المكان والزمان، إضافة إلى اعتمادها على ناتج الطاقة للانفجار. ويبين الشكل (6) القيم المتوسطة لارتفاع السحابة ونصف قطرها بعد مرور 10 دقائق على الانفجار، وذلك للانفجارات الارضية أو الهوائية القريبة من سطح الارض في ظروف مناخية كتلك السائدة في الولايات المتحدة الامريكية، واعتماد الارتفاع ونصف القطر على ناتج الطاقة لهذه الإنفجارات. ويعزى الاستواء في منحنى الارتفاع للمدى من 20 إلى 100 كيلوطن تي إن تي إلى تأثير منطقة الركود في تبطئة صعود السحابة. وتمثل الارتفاعات الخاصة بنواتج الطاقة التي تقل عن حوالي 15 كيلوطن تي ان تي أو تساويها المسافات فوق نقطة الانفجار، أما بالنسبة للارتفاعات الخاصة بنواتج الطاقة الاعلى فإنها تمثل قيم هذه الارتفاعات مقاسة من مستوى سطح البحر. وتقل قيمة أقصى ارتفاع للسحابة الناتجة عن انفجار عند سطح الارض عن القيمة التي يعطيها الشكل (6) وذلك بسبب كتلة الاتربة والحطام الكبيرة التي تحملها السحابة في هذه الحالة.



الشكل (6) : العلاقة بين القيم المتوسطة لارتفاع السحابة المستقرة ونصف قطرها وناتج الطاقة للانفجارات النووية الارضية أو الهوائية القريبة من سطح الارض

عند أخذ الانفجارات التي يقل ناتج الطاقة فيها عن 20 كيلوطن في الحسبان فإن نصف قطر جذع السحابة المحدبة الرأس يكون مساويا لنصف نصف قطر السحابة نفسها. وتقل النسبة بين هذين البعدين بازدياد ناتج الطاقة للسلاح المنفجر، حيث تبلغ قيمة نصف قطر الجذع في الانفجارات من عيار الميجاطن ما بين $\frac{1}{5}$ و $\frac{1}{10}$ قيمة نصف قطر السحابة. أما بالنسبة للسحب التي لا تخترق منطقة الركود، فإن قاعدة الرأس المحدب تقع عند منتصف ارتفاع قمة تلك السحب تقريبا. ومن المحتمل أن تقع قاعدة الرأس المحدب للانفجارات ذات الناتج الطاقي الاعلى قرب منطقة الركود. وهناك تغير في شكل السحابة عند الانتقال من مدى الكيلوطن إلى مدى الميجاطن. إذ يبلغ أقصى ارتفاع لسحابة مثالية لانفجار هوائي عيار 10 كيلوطن حوالي 19,000 قدم وتكون قاعدته واقعة على ارتفاع 10,000 قدم ويبلغ امتدادها الافقي حوالي 16,000 قدم أيضًا. أما للانفجارات في مدى الميجاطن، فإن الابعاد الافقية للسحب الناتجة تكون أكبر من الارتفاع الكلي لها، انظر الشكل (6).

4) السَّقْط (The Fallout)

تدخل كميات كبيرة من المواد من سطح الارض ومن المياه كرة النار في الانفجارات النووية السطحية في وقت مبكر من الانفجار وتتحول إلى بخار وتندمج ضمن الكرة. وعندما تبرد كرة النار بدرجة كافيه، فإن نواتج الانشطار والمخلفات المشعة الاخرى تصبح مدمجة مع جسيمات المواد الارضية نتيجة لتكثف أبخرة نواتج الانشطار على الجسيمات. ويصبح جزء صغير من الجسيمات الصلبة المتكونة مع استمرار التبريد ملوثا بشكل متجانس تقريبا بشظايا الانشطار ونواتجه، غير أن القاعدة العامة في مثل هذه الحالة هي أن التلوث يكون خلال قشرة رقيقة قرب سطح الجسيمات. أما بالنسبة لقطرات الماء، فإنها تكون ملوثة بجسيمات نواتج الإنشطار في أماكن محددة داخل القطرات. وبمجرد انتهاء حالة الاضطراب العنيف الناتجة عن

الانفجار تبدأ الجسيمات الملوثة والقطرات بالسقوط نحو سطح الارض. ويطلق على هذه الظاهرة اسم السَّقْط، كما أن نفس التسمية تطلق على الجسيمات الساقطة (الغبار المتساقط) نفسها عند وصولها إلى سطح الارض. ويُعد السَّقْطُ والنشاط الاشعاعي المصاحب له المصدر الاساسي للاشعاع النووي المتبقي الذي ورد ذكره في العددين السابقين من الذرة والتنمية.

يمكن لطبيعة السقط ومدى تنوعه أن تتباينا بشكل كبير. ويتحدد الوضع الحقيقي للسقط من خلال عدة ظروف مرتبطة بناتج الطاقة وطبيعة تصميم السلاح النووي وارتفاع موقع الانفجار عن سطح الارض وطبيعة هذا السطح إضافة الى العوامل المناخية. ففي انفجار هوائي على ارتفاع عال، على سبيل المثال، فإن كمية المواد الارضية المشفوطة إلى داخل السحابة تكون قليلة بسبب بعد الانفجار عن سطح الارض، يضاف إلى ذلك أن الجسيمات الملوثة تتشتت في هذه الحالة على نطاق واسع. ولذلك فإن مقدار الضرر الناجم عن السقط في هذه الحالة يكون أقل بكثير مما لو كان الانفجار انفجارًا عند سطح الارض. وهذا يُفسِّر غياب الإصابات نتيجة السقط بشكل كلي في هيروشيما ونجازاكي، حيث انفجرت قنبلة هيروشيما (12.5 كيلوطن) على ارتفاع 1,670 قدم وانفجرت قنبلة نجازاكي (22 كيلوطن) على ارتفاع 1,640 قدم.

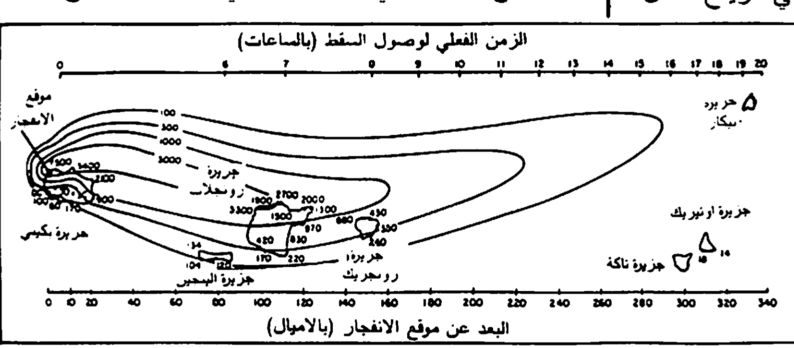
من جهة أخرى، يمكن أن يؤدي الانفجار النووي الذي يحدث عند أو قرب سطح الارض إلى تلوث كبير بالسقط النشط إشعاعيًا. ففي التفجير النووي الحراري التجريبي عيار 15 ميجاطن، الذي أُجري في جزيرة بكيني (Bikini Atoll) في اذار/مارس 1954، نتج عن السقط تلوث منطقة تزيد مساحتها على 7,000 ميل مربع. وكان شكل المنطقة الملوثة على هيئة السيجار، حيث بلغ امتداد المنطقة 20 ميلا بالاتجاه المعاكس لاتجاه الرياح و 350 ميلا بالاتجاه الموازي لاتجاه الرياح، وبلغ عرض المنطقة (بالاتجاه العمودي على اتجاه الرياح) في قيمته القصوى ما يزيد على 60 ميلا. ويبين الشكل (7) الجرعات الإشعاعية الكلية التقديرية عند مختلف المواقع بعد 96 ساعة من لحظة الانفجار.

إن اهم العوامل المناخية التي تحدد شكل ومدى انتشار السقط وموقعه لانفجار نووي هي ارتفاع منطقة الركود والرياح الجوية وحدوث الترسيب. وإذا اعتبرنا ناتج الطاقة للانفجار ونوعه وارتفاع منطقة الركود كميات ثابتة، فإن شكل منطقة السقط يتحدد أساسًا بتحديد اتجاه الريح وسرعتها في منطقة السقط، ويشمل هذا المنطقة الواقعة بين سطح الارض وقمة السحابة المستقرة والتي قد يصل ارتفاعها إلى حوالي 100,000 قدم. كما أن التغير في الرياح خلال المدة المنقضية بين لحظة الانفجار ووصول السقط إلى سطح الارض، بعد عدة ساعات، يؤثر على شكل منطقة السقط.

من المهم أن نتذكر دائمًا أن ظاهرة السقط هي ظاهرة تدريجية تمتد خلال مدة من الزمن. فقد انقضى حوالي 10 ساعات بعد لحظة التفجير النووي الحراري في جزيرة بكيني قبل أن يصل السقط إلى أطراف منطقة السقط التي مساحتها 7,000 ميل مربع كما تقدم. ومع انقضاء الزمن فإن السحابة النشطة إشعاعيًا تصبح ضحلة لدرجة أنها تصبح غير مرئية. وهذا يقودنا إلى حقيقة هامة مفادها أن السقط قد يحدث حتى عندما لا يكون بمقدورنا رؤية السحابة. غير أن السحابة في المنطقة ذات التلوث الاكبر، والتي يعد التلوث فيها مصدر خطر كبير، تكون مرئية. يضاف إلى ذلك أن جسيمات السقط نفسها تكُون مرئية في هذه المنطقة. ويتراوح حجم تلك الجسيمات بين حجم ذرة الرمل الدقيقة، التي قطرها حوالي 100 ميكرومتر (أي 10^{-4} متر)، وحجم قطعة المرمر الصغيرة التي قطرها حوالي 1 سنتمتر (أي 10^{-2} متر). ويمكن لحجم جسيمات السقط أن تكون اكبر حجمًا مما سبق خاصة قرب نقطة الانفجار، كما يمكن أن تكون أصغر حجمًا في أطراف منطقة السقط إذ قد يكون قطرها أقل من 100 ميكرومتر.

نتيجة لحجم الجسيمات انف الذكر، فإن الجسيمات تصل سطح الارض خلال يوم واحد بعد الانفجار ولن يكون بمقدروها الانتقال بعيدًا عن موقع الانفجار، إذ لا يتجاوز ابتعادها بضعة مئات من الاميال، ويعتمد ذلك على الرياح. وهكذا فإن انموذج السقط للجسيمات المرئية يكون قد تحدد خلال 24 ساعة من الانفجار. ويطلق على هذا السقط اسم «السقط المبكر»، كما أنه يعرف في بعض الاحيان باسم «السقط الموضعي». وبالاضافة للسقط المبكر، فإن جسيمات دقيقة تستمر بالتساقط ببطء شديد على مساحات واسعة من سطح الارض، وتعرف هذه الجسيمات باسم «السقط المتأخر» كما أنه يطلق عليها أحيانًا اسم «السقط العالمي» (أي العالمي النطاق). وتساهم البقايا النووية من الانفجارات المختلفة ـ على ارتفاع عالٍ والهوائية والسطحية وتحت السطحية ـ في جسيمات السقط المتأخر.

يُستخدم مصطلح «الكَسْح» (scavenging) للتعبير عن العمليات المتنوعة التي تؤدي إلى إزالة النشاط الإشعاعي من السحابة وترسيب الجسيمات المشعة من السحابة إلى سطح الارض. وتنتج إحدى هذه العمليات عن شفط السحابة لكميات من الاتربة والحطام من سطح الارض في انفجار سطحي أو قرب السطح. ويؤدي تكثف



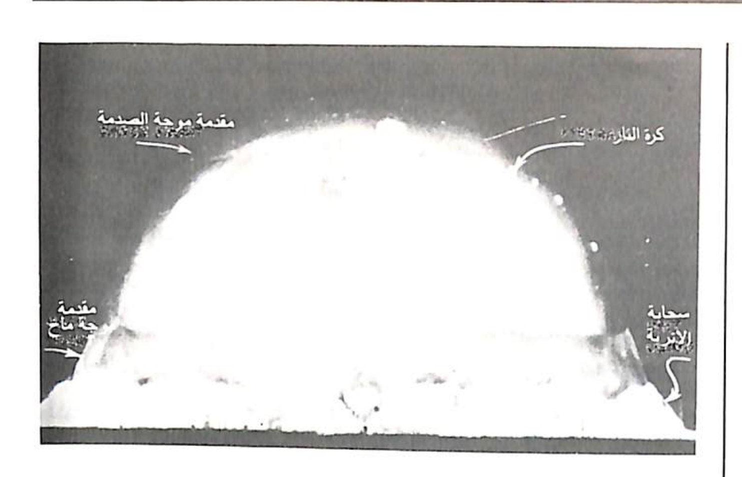
الشكل (7) : الجرعات الإشعاعية الكلية التقديرية مقاسة بالراد (rad) بعد مرور 96 ساعة على انفجار نووي حراري عيار 15 ميجاطن في جزيرة بكيني في اذار / مارس 1954

نواتج الانشطار والابخرة المشعة الاخرى على الجسيمات إلى سقوطها السريع نحو سطح الارض مما ينتج عنه كسْحُ السحابة إلى حد معين. ومن عمليات الكسْح الهامة الاخرى، التي يمكن حدوثها في أية لحظة من تاريخ السحابة، هي تلك الناجمة عن سقوط الامطار خلال حطام السلاح المنفجر والتي تؤدي إلى سقوط الجسيمات الملوثة إشعاعيا مع الامطار إلى الاسفل. وتعد هذه العملية إحدى اليات (mechanisms) انتاج «البُقع الساخنة»، أي البقع التي يكون نشاطها الإشعاعي أعلى بكثير من النشاط الاشعاعي للمنطقة المحيطة بها، وذلك في كل من السقطين المبكر والمتأخر. وبما أن الامطار تنطلق من الغيوم الجوية التي توجد عادة على ارتفاعات من 10,000 إلى 30,000 قدم، فإن عملية الكسح بالامطار السابقة لا تحدث إلّا تحت هذه الارتفاعات. ومن التأثيرات الاخرى للامطار التي تسقط اثناء أو بعد عملية ترسب السقط ان هذه الامطار تغسل الحطام النشط إشعاعيا الموجود على سطح الارض. وقد ينتج عن هذا غسل بعض المساحات وتخفيض نشاطها، كما أنه قد يتسبب في ظهور بقع ساخنة في بعض المناطق الاخرى (المنخفضة).

5) موجة الانفجار

خلال جزء بسيط من الثانية بعد انفجار نووي، فإن موجة ضغط عال تتطور وتندفع من كرة النار إلى الخارج بعيدا عن الكرة. ويُطلق على هذه الموجة اسم موجة الصدمة أو موجة الانفجار، كما ذُكر في العدد 11 من المجلد 2 (1990) من نشرة الذرة والتنمية، انظر الشكل (8). وسنناقش في هذا البند بمزيد من التفصيل موضوع موجة الصدمة. تتحرك موجة الصدمة وتتصرف مثل جدار متحرك من الهواء المضغوط بشدة. بعد مضي 10 ثوان على لحظة انفجار سلاح نووي عيار 1 ميجاطن ووصول كرة النار إلى أقصى حجم لها (حيث يصبح قطرها حوالي 5,700 قدم)، تصبح مقدمة موجة الصدمة على بعد 3 أميال من موقع الانفجار. وبعد مضي 50 ثانية على الانفجار، حيث تصبح كرة النار غير مرئية، فإن موجة الصدمة تكون قد انتقلت مسافة 12 ميل تقريبا. بعدئذ، تتحرك الموجة بسرعة حوالي 1,150 قدم في الثانية، أي بسرعة تزيد قليلا عن سرعة الصوت عند مستوى سطح البحر.

عندما تضرب موجة الانفجار سطح الارض فإنها تنعكس عنه، تماما مثلما تنعكس أمواج الصوت التي تنتج الصدى. وبمقدور الموجة المنعكسة إلحاق الضرر بالمواد، شأنها في ذلك شأن الموجة الاصلية. وتندمج مقدمتا الموجتين الاصلية والمنعكسة في منطقة



الشكل (8) : صورة توضح مقدمة موجة الصدمة التي تسبق كرة النار بعد لحظة التفجير مباشرة. والصورة ملتقطة لتفجير نووي عيار 19 كليو طن في نيو مكسيكو في 1945/7/16

محددة على السطح، يعتمد موقعها بشكل أساسي على ارتفاع الإنفجار وطاقته، حيث ينتج عن إندماجهما ما يعرف باسم «تأثير ماخ». ويكون الضغط عند مقدمة موجة ماخ مساويا لضعفي الضغط عند مقدمة موجة الانفجار تقريبا، ولا يفوتنا بالطبع أن الضغط عند مقدمة موجة الانفجار أعلى من الضغط الجوي بكثير.

يبدأ تأثير ماخ لإنفجار نووي عيار 1 ميجاطن، على ارتفاع 6,500 قدم، بالظهور بعد 4.5 ثانية تقريبا من لحظة الانفجار، ويكون على شكل دائرة نصف قطرها حوالي 1.3 ميل. ويبلغ ضغط مقدمة موجة الانفجار في هذه اللحظة حوالي 20 باوند لكل بوصة مربعة، مما يجعل الضغط الكلي للهواء أكثر من ضعفي الضغط الجوي الاعتيادي (قيمة الضغط الجوي عند سطح البحر تساوي 14.7 باوند لكل بوصة مربعة مقارنة بقيمة الضغط الكلي التي تبلغ حوالي 34.7 باوند لكل إنش مربع). ويكون ارتفاع مقدمة موجة ماخ في البداية صغيرا، إلا أنه يبدأ بالتزايد المستمر مع استمرار حركة مقدمة موجة الانفجار. وفي نفس الوقت يبدأ الضغط الزائد (عن الضغط الجوي)، كالضغط في موجة الانفجار، بالتناقص المستمر بسبب الفقدان المستمر في الطاقة والزيادة المستمرة في مساحة مقدمة الموجة المنتشرة. وبعد مضي 40 ثانية، حيث تصبح مقدمة موجة ماخ على بعد 10 أميال من مركز الانفجار، فإن الضغط الزائد يكون قد تناقص إلى حوالي 1 باوند لكل بوصة مربعة.

(البقية في العدد القادم)



نشرة علمية اعلامية تصدرها الهيئة العربية للطاقة الذرية تعنى بالتطبيقات السلمية للطاقة الذرية.
المراسلات :
22، شارع افريقا ـ المنزه الخامس ـ ص.ب. 402 ـ 1004
تونس ـ الجمهورية التونسية
هاتف : 238.137 / 237.311 ـ تلكس AAEA 14896
فاكس : 237.755